Aus dem Strahleninstitut und der Strahlenklinik der Freien Universität Berlin
im Städtischen Krankenhaus Westend
Direktor: Professor Dr. med. Heinz O e s e r

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG DER KALZIUM - KONZENTRATION AN KNOCHEN UND ZÄHNEN

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den
Medizinischen Fachbereichen der Freien Universität Berlin
vorgelegt von
Sabine Berten geb. Rothenberg
aus Rathenow / Havel

1970

Aus dem Strahleninstitut und der Strahlenklinik der Freien Universität Berlin
im Städtischen Krankenhaus Westend
Direktor: Professor Dr. med. Heinz O e s e r

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG DER KALZIUM - KONZENTRATION AN KNOCHEN UND ZÄHNEN

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den
Medizinischen Fachbereichen der Freien Universität Berlin
vorgelegt von
Sabine Berten geb. Rothenberg
aus Rathenow / Havel

Referent: Professor Dr. Dr. E. Krokowski

Korreferent: Professor Dr. Dr. E. Schütte

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 21. Dezember 1970

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG DER KALZIUM-KONZENTRATION AN KNOCHEN UND ZÄHNEN

1. Einleitung

2. Methoden zur röntgenologischen Bestimmung der Kalzium-Konzentration

3. Angewandte Methode der vergleichenden Schwärzungsmessung mit Hilfe eines Referenz-Systems (Methode nach HEUCK/SCHMIDT)

4. Durchführung der Untersuchung
   4.1 an Zähnen
   4.2 an Humeri und Wirbelsäulen von Kindern

5. Chemisch-analytische Vergleichsuntersuchungen

6. Ergebnisse
   6.1 Abhängigkeit des Kalzium-Gehaltes der Zähne vom Lebensalter und von der Lokalisation
   6.2 Normalwerte der Kalzium-Konzentration in Humeri von Kindern
   6.3 Ergänzungen zu den bisher vorliegenden Ergebnissen der Untersuchungen mittels der röntgenologischen Substanz-Analyse an Wirbelsäulen von Kindern

7. Diskussion

8. Zusammenfassung

9. Literaturverzeichnis

10. Danksagung

1. Einleitung

Erkenntnisse auf dem Gebiet der Vitamin- und Enzymforschung und der Endokrinologie zeigen den großen Einfluß von Stoffwechselstörungen auf den Mineralsalzgehalt des menschlichen Skelett-Systems und die daraus resultierenden Veränderungen.

Verschiedene diagnostische Verfahren haben besondere Bedeutung erlangt, die auf eine möglichst einfache und unblutige Methode zu einer quantitativen Bestimmung des Mineralsalzgehaltes der Knochen führten. Von KROKOWSKI, HAASNER und RACH wurden röntgenologische Untersuchungen durchgeführt, um die Normalwerte für die Kalzium-Konzentration im Knochen, vorliegend in Form von Hydroxylapatit, zu bekommen. Sie bestimmten hierbei den Kalziumgehalt in mg/ml in Abhängigkeit vom Lebensalter, Lokalisation und Geschlecht (12). Erst so kann eine ausreichende Diagnostik und Bewertung zur frühzeitigen Erkennung von Veränderungen im Sinne einer Demineralisation betrieben werden.

BARNETT und NORDIN (24) berichten von röntgenologischen Untersuchungen am Metacarpale von gesunden Kindern und bei Kindern, die an einem sogenannten Fehlabsorptionssyndrom erkrankten. Sie fanden bei diesen im Vergleich zu den vorher aufgestellten Normalwerten osteoporotische Veränderungen, die als sekunsäre Komplikation bei Enteropathien auftreten.

Aufgabe dieser Arbeit ist es, ergänzende Untersuchungen über den Kalziumgehalt bei Kindern an Wirbelsäulen und Humeri durchzuführen und Zähne auf ihren Mineralsalzgehalt in Abhängigkeit von Lebensalter und Lokalisation zu prüfen.

2. Methoden zur röntgenologischen Bestimmung der Kalzium-Konzentration

Eine subjektive Beurteilung des Mineralsalzgehaltes der Knochen mittels eines Röntgenbildes ist zwar möglich, jedoch sehr ungenau, da das visuelle Unterscheidungsvermögen für Schwärzungsdifferenzen gering ist. Um eine Veränderung des Mineralsalzgehaltes in geringgradigem Ausmaß überhaupt feststellen zu können, bedarf es präziser Untersuchungsverfahren. Daher wurden verschiedene röntgenologische Methoden entwickelt, die zu einer quantitativen Bestimmung des Mineralsalzgehaltes führen.

Methode der vergleichenden Schwärzungsmessung:

Bei dieser Methode handelt es sich um einen Vergleich der Schwächung der Röntgenstrahlung durch den untersuchten Skeletteil mit der eines bekannten Bezugssystems. Durch Photometrie des Röntgenbildes werden Bezirke gleicher Bildschwärzung ermittelt und die entsprechende Dicke des Vergleichskörpers. Hierbei erlauben entsprechende Schwärzungen im graduierten und im untersuchten Knochenbezirk Rückschlüsse auf den Mineralsalzgehalt. ENGSTRÖM und WELM (1951) nahmen als Bezugssystem eine Aluminiumtreppe (14), HENNY (1950) Rinderknochen (19), MACK und Mitarbeiter (1949) einen Elfenbeinkeil (23), JACKSON (1950) Ochsenknochen (20). JACKSON versuchte als erster den Weichteilfaktor dadurch auszuschließen, daß er das zu untersuchende Material in eine Wasserwanne legte. Ebenfalls SPIEGLER und Mitarbeiter (21) versuchten, diesen Faktor auf gleiche Weise bei ihren Messungen an Phalangen, Radius und Calcaneus auszuschalten. HEUCK und SCHMIDT stellten auf Grund chemisch-analytischer Vergleichsuntersuchungen fest, daß ohne Ausschluß der Weichteil-Absorption eine Differenz der erhaltenen Werte von zehn Prozent besteht und versuchten, den störenden Weichteilmantel dadurch auszuschalten, daß sie ihr Referenzsystem unter das Weichteilgewebe legten. Auf diese Weise überlagerten die Weichteilschatten auf dem Röntgenbild gleichzeitig die Treppe und den Knochen (17/18).

Methode der quantitativen Absorptionsmessung:

Mit Hilfe von monochromatischer Röntgenstrahlung oder Strahlung durch ein radioaktives Isotop wird der Absorptionskoeffizient des zu untersuchenden Materials ermittelt.

GYÖRGYI und BOZOKY (1960/61) (16) verwendeten diese quantitative Absorptionsmessung am distalen Femurkondylus, indem sie mit einem geeigneten Densitometer direkt die Schwächung der Röntgenstrahlen im Knochen maßen. FROMMHOLD und SCHOKNECHT (1960) (15) bedienen sich ebenfalls dieser Methode und konnten durch direkte Schwächungsmessung den Gehalt eines Knochens an Hartsubstanz beurteilen. Sie berücksichtigten dabei besonders den strukturellen Aufbau des Knochens in Kompakta und Spongiosa.

Röntgenologische Substanzanalyse mittels differenter Strahlenqualitäten nach KROKOWSKI:

Diese Methode besitzt den Vorzug, Bestimmungen des Kalziumgehaltes nicht nur an peripheren Skeletteilen durchzuführen, sondern tiefergelegene Skelettsysteme mit zu erfassen. Außerdem ist sie in jeder Klinik praktisch durchführbar.
Die Methode macht sich den Übergang vom Photo- zum Comptoneffekt beim Auftreffen von Röntgenstrahlen mit verschiedenen Spannungen zunutze. Bei einer Röhrenspannung von 50 - 60 kV ist die Strahlenabsorption hauptsächlich vom Photoeffekt abhängig, wobei die Ordnungszahl des absorbierenden Mediums ausschlaggebend ist. Liegen die Spannungen jedoch um 200 - 250 kV, so bestimmt der Comptoneffekt das Ausmaß der Strahlenabsorption, ohne Einfluß der Ordnungszahl. Durch Wählen einer Spannung von 50 - 60 kV und andererseits von 200 kV muß sich die Ordnungszahl deutlich herausheben. Vergleicht man die Schwächung der Röntgenstrahlen von 60 kV und 200 kV, wobei Dichte und Dicke des umgebenden Weichteilmantels, da sie auf beiden Aufnahmen gleich wirksam sind, wegfallen, wird es möglich, die bestimmende Ordnungszahl des Mediums - hier Kalzium - zu ermitteln (1 - 12).

3. Angewandte Methode der vergleichenden Schwärzungsmessung mit Hilfe eines Referenzsystems (Methode nach HEUCK/SCHMIDT)

Zur qualitativen Gehaltsbestimmung bei isolierten Zähnen von Patienten verschiedenen Alters und Geschlechts wurde eine Methode der vergleichenden Schwärzungsmessung von Röntgenstrahlen angewandt, die Methode nach HEUCK/SCHMIDT. HEUCK/SCHMIDT entwickelten einen Vergleichskörper, in dem Kalzium und Phosphor in der gleichen Menge vorkommen wie im Knochen. Mit Hilfe dieses Referenzsystems wird ein Vergleich der Schwächung der Röntgenstrahlen des zu untersuchenden Materials mit dem Referenzsystem geführt.

Theoretische Grundlage:

Der bei den Untersuchungen verwandte Phantomkörper setzt sich aus drei Teilen zusammen und hat die Form einer Treppe. Die Grundsubstanz besteht aus Kunstharz, in welcher der Hauptbestandteil anorganischer Knochensubstanz, das Hydroxylapatit, in Körnchengröße analog dem Aufbau und der Struktur von Spongiosabälkchen - und Lamellen homogen einpolymerisiert ist. Jedes der drei Teile der Treppe enthält in der Grundsubstanz unterschiedliche Konzentrationen des Hydroxylapatits. Ebenfalls unterscheidet sich der Gehalt des Hydroxylapatits von Stufe zu Stufe, die jeweils einen Höhenunterschied von 5 mm haben. Der pro Stufe vorhandene Hydroxylapatitgehalt des Phantomkörpers wurde chemisch-analytisch bestimmt. Durch diese Eichung ist es möglich, ein reproduzierbares Vergleichsmaß zu den zu untersuchenden Knochen bzw. Zähnen anzugeben und den entsprechenden Hydroxylapatitgehalt pro Knochensubstanz in der zu untersuchenden Region zu errechnen. Diese Methode ist praktisch in jeder Klinik anwendbar, beschränkt sich jedoch nur auf die Anwendung an peripheren Skelettabschnitten (17/18).

4. Durchführung der Untersuchung

4.1 an Zähnen

Die zu untersuchenden Zähne werden neben das Referenzsystem gelagert. Davon werden im a.p.-Strahlengang bei Spannungen von 38 - 40 kV und einer Belichtungszeit von 0,01 - 0,03 sec. Röntgenaufnahmen angefertigt. Der störende Weichteilmantel fällt hier weg, da es sich um isolierte Zähne handelt.

Versuchsanordnung Abb. 1 - 3

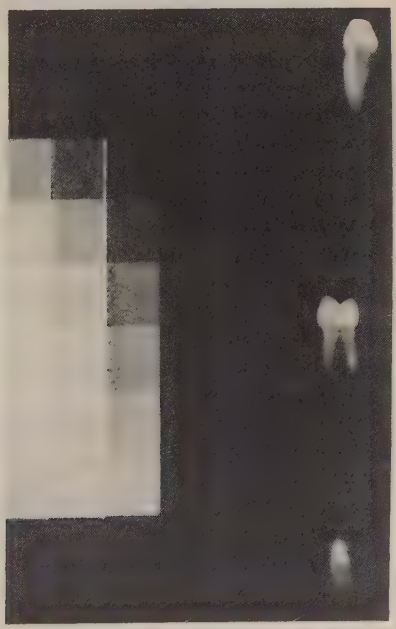

Abb. 1

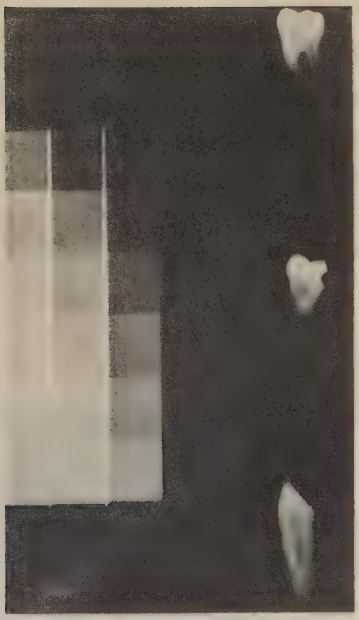

Abb. 2

Abb. 3

Der Schmelz erscheint auf den Röntgenbildern homogen hell, da seine anorganischen Bestandteile strahlenundurchlässig sind. Im Gegensatz dazu zeichnet sich das Dentin entsprechend seinem geringeren Gehalt an anorganischer Substanz dunkler ab, d.h., es ist strahlendurchlässiger.

Die Auswertung der durchgeführten Untersuchungen erfolgte mit dem Photometer nach Dr. B. LANGE. Auf Grund der unterschiedlichen Absorption läßt sich mit Hilfe der Photometrie der Hydroxylapatitgehalt feststellen. Zusammen mit dem zu untersuchenden Material unbekannten Hydroxylapatitgehaltes - in diesem Fall Zähne - und dem auf dem Röntgenbild mit aufgenommenen Referenzsystem lassen sich auf Grund gleicher Schwärzungen Werte für den Hydroxylapatitgehalt an markierten Punkten bestimmen. Dabei wurde versucht, sowohl für den Schmelz als auch für das Dentin getrennt Werte zu bestimmen. Das Photometer gestattet die Ausblendung und Untersuchung eines kleinen Feldes (bei den Zähnen wurde ein Durchmesser von 1 mm gewählt) und ist konstruktionsmäßig so angelegt, daß man den zu messenden Bezirk vorher exakt lokalisieren kann. Die Ergebnisse dieser photometrischen Auswertung lassen sich graphisch darstellen. Zunächst werden die Schwärzungskurven der drei Treppenteile mit jeweils pro Stufe unterschiedlichem Hydroxylapatitgehalt dargestellt. Dabei werden auf der Abzisse die Schichtdicke der Treppe und auf der Ordinate die Schwärzungswerte eingetragen. Der Abstand der Schwärzungskurven ist durch die Differenz der Treppen an Hydroxylapatitgehalt in der organischen Substanz gegeben. Die Form und Verteilung des Hydroxylapatits sind jedoch im Gesamtvolumen für alle Treppen gleich.

Durch Eintragen der gefundenen Schwärzungswerte des untersuchten Zahnes in dieses Diagramm kann aus der Schwärzungskurve der Treppe unter Einbeziehung der Stufenhöhe auf den Hydroxylapatitgehalt geschlossen werden.

Die Berechnung des sogenannten Schwächungswertes der Röntgenstrahlen der untersuchten Zähne, angegeben in relativen Einheiten, erfolgte in folgender Reihenfolge:

1. Bestimmung der Schwärzungswerte der Treppe
2. Schwärzungswerte des zu untersuchenden Zahnes
3. Graphische Darstellung der Schwärzungswerte der Treppe, die im visuellen Vergleich der Schwärzung des Zahnes entspricht
4. Aufsuchen der entsprechenden Höhe der Treppenstufe zu dem Schwärzungswert des Zahnes.

5. Dividieren der erhaltenen Stufenhöhe mit der Dicke des Zahnes (gemessen mit einer Schublehre)

$d_1 / d_2 = H_z$ = Schwächungswert
bzw. Schwächung der Röntgenstrahlen

d_1 = Höhe der Treppenstufe
d_2 = Zahndicke

4.2 an Humeri und Wirbelsäulen von Kindern

Die Bestimmung des Mineralsalzgehaltes an Brust- und Lendenwirbelsäulen vorwiegend Erwachsener wurde in großem Umfang am hiesigen Institut durchgeführt (1 - 12/22/29).

Wie schon erwähnt, haben HAASNER, KROKOWSKI und RACH die Normalwerte des Hydroxylapatitgehaltes im Skelett in Abhängigkeit von Lokalisation, Lebensalter und Geschlecht mit der Methode der röntgenologischen Substanzanalyse (12) nach KROKOWSKI bestimmt. Die hier vorliegenden Untersuchungen bei Kindern stellen somit eine Ergänzungsbetrachtung dar. Sie konnten an Kindern im Alter von zwei Tagen bis zum 14. Lebensjahr durchgeführt werden. Es wurde ebenfalls nach der HEUCK/SCHMIDT'schen Methode gearbeitet. Dabei wurde versucht, den störenden Weichteilfaktor dadurch zu eliminieren, indem das verwendete Referenzsystem direkt neben den zu untersuchenden Skelettabschnitt gelegt wurde, oder ein Phantomkörper verwandt wurde, der in einem Weichteilmantel eingebettet war. Die Auswertung der Röntgenbilder erfolgte ebenfalls mit dem Photometer nach Dr.B. LANGE, wobei bei der Schwärzungsmessung der Wirbelsäule in einem Bezirk von 6 mm und bei den Humeri von 3 mm photometriert wurde. Die weitere Bestimmung erfolgte mit Hilfe der graphischen Darstellung. Eine Umrechnung der erhaltenen relativen Werte in absolute konnte nach der Methode von KROKOWSKI (12) durchgeführt werden.

Abb. 4
Humerus
weibl., 4 Monate

Abb. 5
Humerus
männl., 3 4/12 Jahre

Abb. 6
Humerus
männl., 1 4/12 Jahre

Abb. 7
Humerus
weibl., 6 10/12 Jahre

Abb. 8
Wirbelsäule
weibl., 11 1/2 Jahre

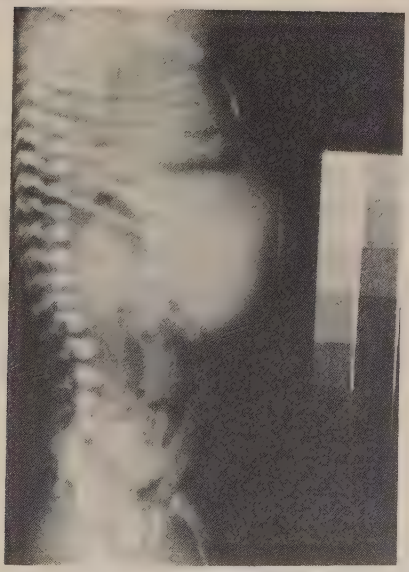

Abb. 9
Wirbelsäule
männl., 2 Tage

5. Chemisch-analytische Vergleichsuntersuchungen

Um die erhaltenen Relativwerte in ein absolutes Ergebnis zu überführen, wurden die Zähne dankenswerterweise im Institut für Klinische Chemie unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. H. J. DULCE von Herrn Dr. J. BRAUN chemisch-analytisch untersucht. Die Abgabe der Ergebnisse erfolgte in mg%.

Untersuchungsgang (27/28):

1. Aufarbeitung
   a) Abschleifen mit einer Diamant-Schleifscheibe, getrennt für Dentin und Schmelz
   b) Trocknen über Nacht bei 110 °C
   c) Hydrolyse mit 4-n HCl in einem Borsilicatglas, das kein Kalzium abgab 20 Stunden bei 100 °C
2. Direkte Titration des Kalziums mit Murexid
   (Zitiert aus SCHWARZENBACH, G. "Die komplexiometrische Titration")
   Reagenzien: Maßlösung: 0,01 - m AeDTE; Murexid; 1-n NaOH; eventuell 0,01 m $CaCl_2$
   Ausführung:
   Zu je 100 ml der zu titrierenden neutralen Lösung (saure Probelösungen werden mit NaOH neutralisiert), die nicht mehr als etwa 5 mg Ca enthalten sollen, gibt man 10 ml 1-n NaOH und, wenn nötig, das Tarnungsmittel. Nun fügt man einige Tropfen Indikator hinzu und titriert bis zum Farbwechsel von Rot nach Violett. Die Titration muß nach der Zugabe der NaOH sofort ausgeführt werden wegen der Gefahr der Ausfällung von $CaCO_3$.
   Berechnung:
   Jedes ml 0,01 m - AeDTE entspricht 10^{-5} Grammatomen oder 0,4008 mg Ca.

Insgesamt wurden 88 isolierte Zähne von Patienten im Alter vom 7. bis 74. Lebensjahr röntgenologisch untersucht, eine chemisch-analytische Vergleichsuntersuchung erfolgte an 53 Zähnen.

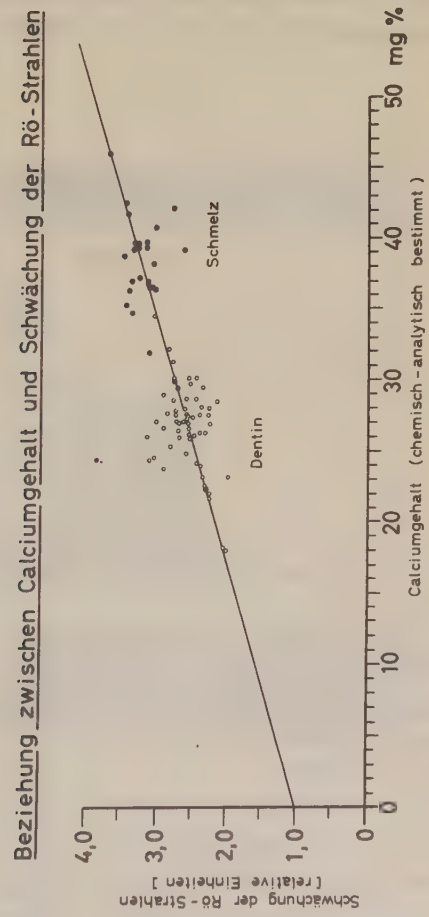

Abb. 10

Eine Gegenüberstellung der röntgenologischen Ergebnisse mit den absoluten Werten der chemisch-analytischen Untersuchungen bestätigte den deutlichen Unterschied des Kalzium-Gehalts im Schmelz und Dentin zwischen gesunden und von Caries befallenen Zähnen.

Die Caries besteht also nicht in einfacher lokaler Kalzium-Verminderung. Nach den vergleichenden Untersuchungen, die bei BRAUN und DULCE durchgeführt wurden, liegt bei der Caries außer einer quantitativen Änderung des lokalen Kalzium-Gehalts eine qualitativ veränderte Kristallstruktur des Hydroxylapatits vor.

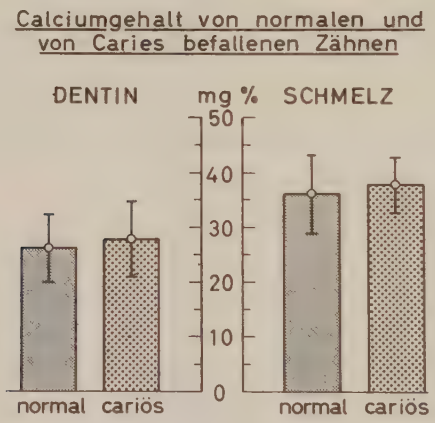

Abb. 11

Mittelwerte:

Röntgenologische Untersuchung			Chemische Analyse
Schwächung der Röntgenstrahlen (relative Einheiten)			mg%
1. mit Caries	Dentin	2,66	27,36
	Schmelz	3,19	37,56
2. ohne Caries	Dentin	2,53	26,74
	Schmelz	3,17	35,71

6. Ergebnisse

6.1 Abhängigkeit des Kalzium-Gehalts der Zähne vom Lebensalter und von der Lokalisation

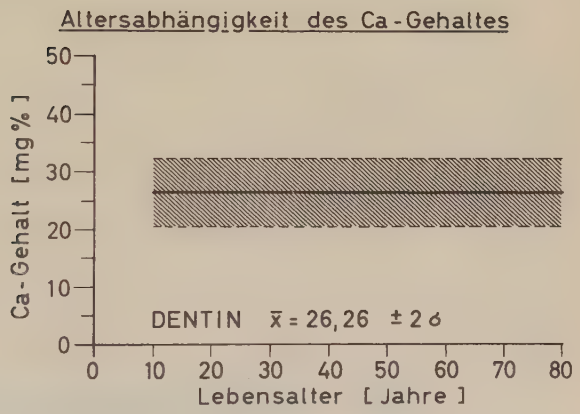

Abb. 12

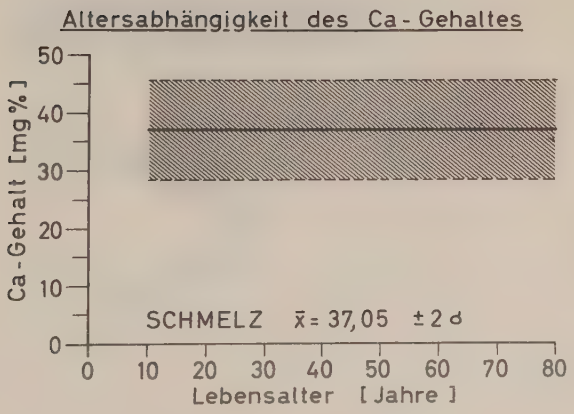

Abb. 13

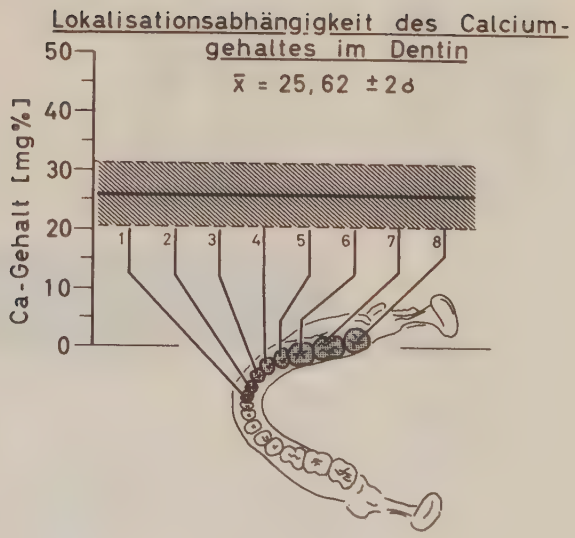
Lokalisationsabhängigkeit des Calcium-
gehaltes im Dentin
$\bar{x}$ = 25,62 ± 2σ
Ca-Gehalt [mg%]
50
40
30
20
10
0
1
2
3
4
5
6
7
8

Abb. 14

6.2 Normalwerte der Kalzium-Konzentration in Humeri von Kindern

Die Untersuchungen wurden getrennt an Humerusschaft und Humeruskopf durchgeführt.

Anzahl der untersuchten Kinder:	männlich	29
	weiblich	29

Alter	Anzahl		Hydroxylapatitgehalt (mg/ml) Humeruskopf	Humerusschaft
0 - 5 Jahre	männl.	12	176 - 190	172 - 185
	weibl.	16	174 - 190	167 - 186
5 - 10 Jahre	männl.	11	196 - 203	183 - 200
	weibl.	8	186 - 203	184 - 192
10 - 15 Jahre	männl.	6	201 - 231	190 - 222
	weibl.	6	197 - 218	191 - 213

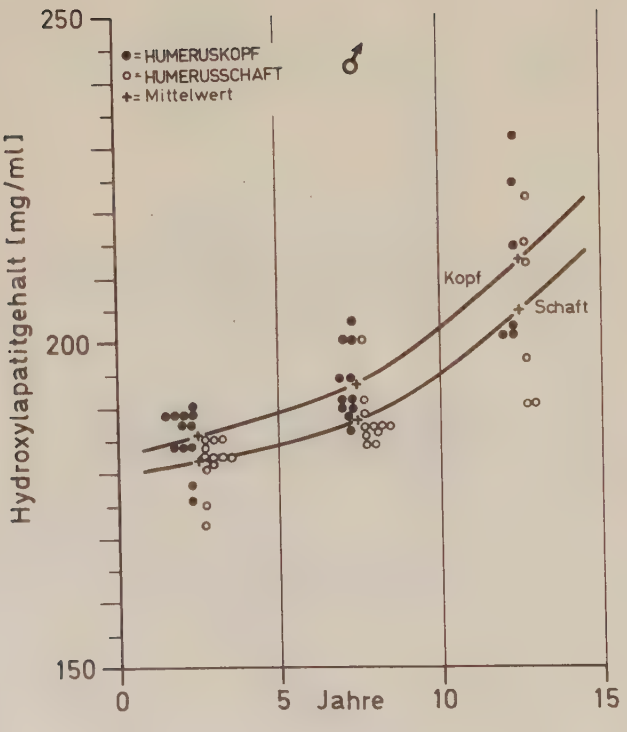
250
200
150
Hydroxylapatitgehalt [mg/ml]
●= HUMERUSKOPF
○= HUMERUSSCHAFT
+= Mittelwert
♂
Kopf
Schaft
0
5
Jahre
10
15

Abb. 15

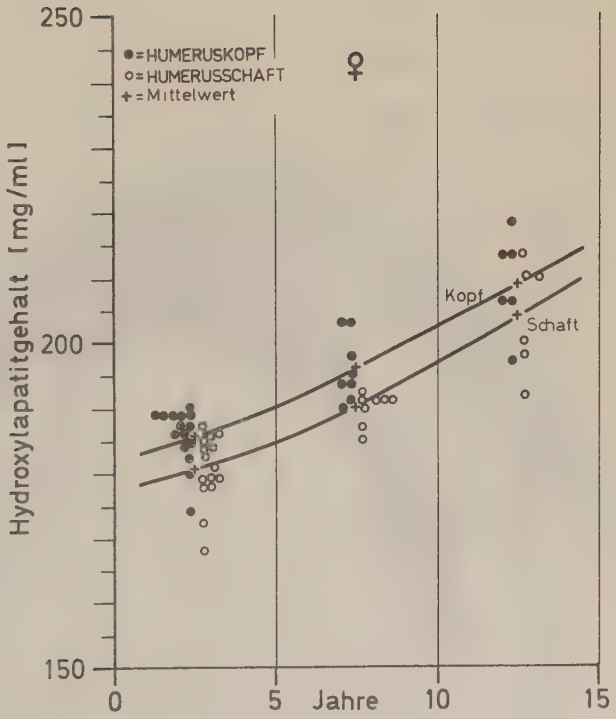
250
200
150
Hydroxylapatitgehalt [mg/ml]
●=HUMERUSKOPF
○=HUMERUSSCHAFT
+=Mittelwert
♀
Kopf
Schaft
0
5
Jahre
10
15

Abb. 16

6.3 Ergänzungen zu den bisher vorliegenden Ergebnissen der Untersuchungen mittels der röntgenologischen Substanz-Analyse an Wirbelsäulen von Kindern

Anzahl der untersuchten Kinder: männlich 29
weiblich 30

Alter	Anzahl		Hydroxylapatitgehalt (mg/ml)
0 - 5 Jahre	männl.	12	139 - 208
	weibl.	15	140 - 206
5 - 10 Jahre	männl.	8	176 - 138
	weibl.	7	178 - 197
10 - 15 Jahre	männl.	9	196 - 240
	weibl.	8	192 - 229

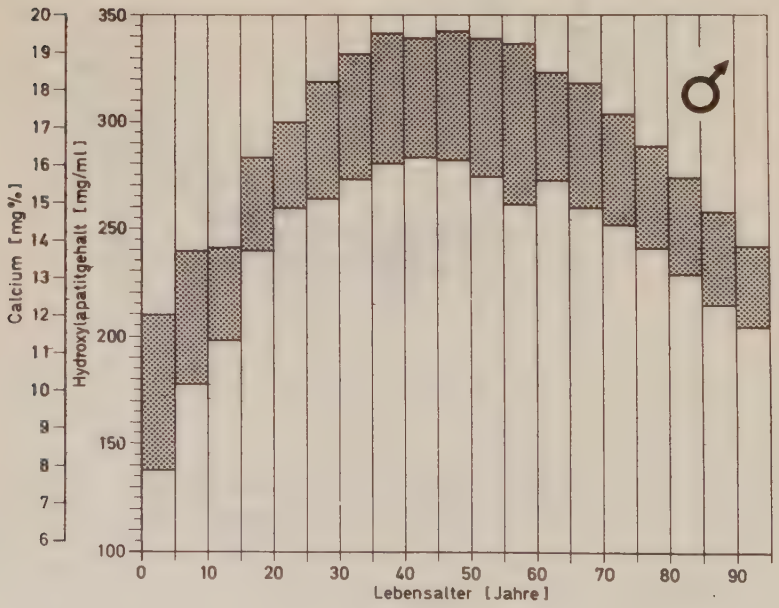

Abb. 17

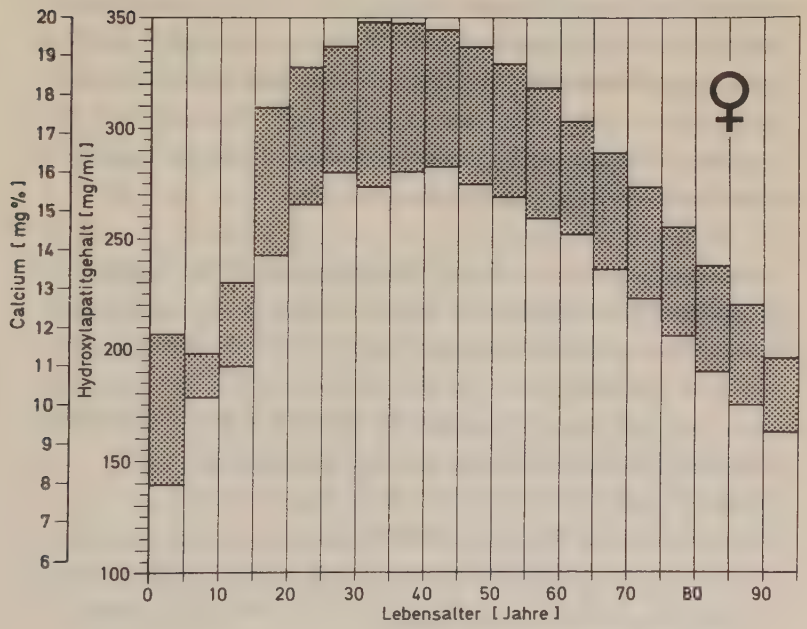

Abb. 18

7. Diskussion

Über die Knochenstruktur wurden von BRANDENBURGER und SCHINZ intensive Untersuchungen durchgeführt. Bereits die ersten an Knochen und Zähnen aufgenommenen Röntgendiagramme zeigten, daß diese allein das Interferenzsystem einer Kristallart vom Apatittypus liefern. Auch M. A. BREDIG kam durch Vergleiche mit synthetischen Apatiten zu der gleichen Feststellung. Die Annahme, daß die organische Zahnsubstanz vorwiegend aus Fluorapatit, die Knochensubstanz aus Karbonatapatit besteht, wurde durch chemische und röntgenographische Versuche, die bereits von R. KLEMENT und G. TRÖMEL 1929 und 1935 durchgeführt wurden, widerlegt. In jedem Fall zeigte sich, daß das Röntgenogramm des geglühten Knochens und des ungeglühten Zahnschmelzes mit dem Interferenzsystem von geglühtem Hydroxylapatit übereinstimmte.

Die Möglichkeit eines Auftretens von Karbonat-, Oxy- oder Fluorapatit ließ sich in allen Untersuchungen ausschließen. Aus den von BRANDENBURGER und SCHINZ erhaltenen Befunden folgte, daß der in der anorganischen Knochen- und Zahnsubstanz auftretende Apatit als Hydroxylapatit vorhanden ist. Auch unter Bildung von Mischkristallen kommt es noch nicht zu merklichen Veränderungen des Interferenzsystems des Hydroxylapatits (13).

Bei den Ergänzungsuntersuchungen an Wirbelsäulen von Kindern zeigt sich eine ständige Zunahme an Hydroxylapatitgehalt von Geburt an. Beim männlichen Geschlecht ist der höchste Hydroxylapatitgehalt um das 45. Lebensjahr, beim weiblichen Geschlecht um das 35. Lebensjahr zu erwarten.
Für den Hydroxyl- bzw. Kalziumgehalt des Knochens wurde von KROKOWSKI für den Erwachsenen ein parabelförmiger Verlauf beschrieben. (Formel:
H männl. $= 3{,}66\ (A - 45)^2\ (A - 203) \times 10^{-4} + 313$
H weibl. $= 6{,}66\ (A - 38)^2\ (A - 157) \times 10^{-4} + 313$)
Unterhalb des 15. Lebensjahres, zwischen dem 10. und 15. Lebensjahr, findet sich ein Sprung. Hier ist zu diskutieren, ob in diesem Lebensabschnitt hormonelle Einflüsse von Bedeutung sind (13).

Vergleicht man die Werte des Kalziumgehaltes der Wirbelsäulen und Humeri in den ersten Lebenstagen, so finden wir bei beiden den Ausgangswert zwischen 150 und 200 mg/ml. Wie schon in von KROKOWSKI, HAASNER und RACH vorliegenden Normalwerten des Hydroxylapatitgehaltes angegeben, fanden sich auch bei Kindern unterschiedliche Kalziumkonzentrationen im Humeruskopf und Humerusschaft.
Im Gegensatz zu den Untersuchungen an Knochen zeigt sich bei den Zähnen keine Abhängigkeit des Mineralsalzgehaltes vom Lebensalter und von der Lokalisation. Auffallend war hier die unterschiedliche Kalziumkonzentration im gesunden und von Caries befallenen Zahn. Es wurden Veränderungen in Schmelz und Dentin festgestellt: In von Caries befallenen Zähnen wesentliche höhere Kalziumkonzentration.
Schon BRANDENBURGER und SCHINZ haben in ihren röntgenographischen Untersuchungen an kranken Zähnen gefunden, daß bei cariösen Zähnen das Kristallbild des Hydroxylapatits ein "verhältnismäßig gut ausgebildetes" ist, gegensätzlich dazu fanden sie bei rachitischen Zähnen eine Intensitätsminderung als Ganzes, wie es einem Abbau von Hydroxylapatit entspricht (13).

In der Literatur über die Caries wurde mehrfach die Beobachtung gemacht, daß an der Oberfläche eines cariösen Defektes ein erhöhter Kalziumgehalt zu finden ist. Es wird angenommen, daß durch eine posteruptive Mineralisation ein erhöhter Kalkgehalt der Außenschicht entsteht, der einen gewissen Schutz gegen ein erneutes Eindringen der Cariesnoxe bildet. Erwogen wird andererseits, ob nicht nach dem Eindringen der Caries in den Schmelz vom Speichel aus eine Remineralisation der Schmelzoberfläche erfolgt (26).

Diese Beobachtungen beschränkten sich bisher jedoch nur auf das Vorhandensein eines erhöhten Mineralsalzgehaltes an der Schmelzoberfläche, so daß nach den vorliegenden Befunden die Frage zu klären wäre, inwieweit auch eine verstärkte Remineralisation oder überhaupt Mineralisation des Dentins möglich ist.

8. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit sollten Ergänzungsuntersuchungen über den Mineralsalzgehalt in Knochen bei Kindern durchgeführt werden. Gleichzeitig wurde der Kalziumgehalt in Zähnen in Abhängigkeit von Lokalisation und Lebensalter geprüft.

Die bei der vorliegenden röntgenologischen Mineralsalzbestimmung angewandte Methode der vergleichenden Schwärzungsmessung mittels eines Referenzsystems nach HEUCK/SCHMIDT wurde erklärt und ein Überblick über andere Methoden dieser Bestimmung gegeben.

Es konnten Humeri und Wirbelsäulen im Bereich der LWS von 60 Kindern im Alter von zwei Tagen bis zum fünfzehnten Lebensjahr hinsichtlich ihres normalen Hydroxylapatitgehalts untersucht werden. In Anlehnung an schon vorhandene Untersuchungen bei Erwachsenen wurden die Ergebnisse an Hand graphischer Darstellungen erläutert, dabei konnte gezeigt werden, daß im Humerus und in der Wirbelsäule ungefähr gleiche Konzentrationsverhältnisse an Hydroxylapatit bei Geburt vorliegen, die sich in Abhängigkeit vom Alter zunehmend verändern.

Durch Untersuchungen an 88 isolierten Zähnen von Patienten bis zum 74. Lebensjahr, deren Ergebnisse in relativen Werten durch eine chemisch-analytische Untersuchung an 53 Zähnen in absolute Werte überführt wurden, wurde nachgewiesen, daß die Mineralsalzverhältnisse in Zähnen unabhängig von Lebensalter, Geschlecht und Lokalisation konstant bleiben. Die unterschiedliche Konzentration an Hydroxylapatit im gesunden und von Caries befallenen Zahn wurde diskutiert.

9. Literaturverzeichnis

1. E. Krokowski
"Röntgen. Analyse-Technik zur Bestimmung des Ca-Gehaltes in Knochen"
Medizinalmarkt Sept. 1965, Seite 424

2. E. Krokowski
"Absorption von Rö.-Strahlen im Knochen"
Rö.-Strahlen 91 (1959), Seite 76

3. E. Krokowski, W. Schlungbaum
"Objektivierung der Diagnose Osteoporose röntgenologisch"
Fortschr. Röntgenstr. 91 (1959), Seite 740

4. E. Krokowski, H. Steiner
"Röntgen. Bestimmung des Ca-Gehaltes im menschlichen Skelett"
Med. Klinik 49 (1961), Seite 2073

5. E. Krokowski
"Die typische Radiusfraktur"
Schweizer med. Wschr. 92 (1962), Seite 1120

6. E. Krokowski
"Quantitative Verlaufsbeobachtung der Ca-Veränderung im Knochen mittels der röntgen. Substanzanalyse"
Fortschr. Röntgenstr. 100 (1964), Seite 359

7. E. Krokowski
"Quantitative röntgenologische Bestimmung des Skelett-Calziums"
71. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Innere Medizin 1965

8. Oeser, H. E. Krokowski
"Rö.-Strahlen zur visuellen Knochenbiopsie zwecks Bestimmung des Mineralsalzgehaltes"
Dtsch. med. Wochenschrift 86 (1961), Seite 2431

9. E. Krokowski
"Möglichkeiten der rö. Analyse von Substanz, Funktion und Wirkung"
Röntgen-Praxis 19. Jahrgang (1966), Heft 5, Seiten 115 - 122

10. E. Krokowski
"Die quantitative Bewertung der Osteoporose"
Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete, Bd. 101 (1966)
Seiten 269 - 273

11. E. Krokowski
"Deutung und Fehldeutung der postmenopausischen Osteoporose"
Münchener med. Wochenzeitschrift

12. E. Haasner, E. Krokowski, K. Rach
"Normalwerte des Hydroxylapatitgehaltes im Skelett in Abhängigkeit von Lokalisation, Lebensalter und Geschlecht"
Klin. Wochenschrift 45. Jahrgang, 11. Heft (1967), Seiten 575 - 578

13. Brandenburger, Schinz (1946)
"Über die Natur der Verkalkung bei Mensch und Tier und das Verhalten der anorganischen Knochensubstanz im Falle der hauptsächlichen menschlichen Knochenerkrankungen"
Verlag G. Schwabe & Co., Basel

M. Bredig, zitiert aus Brandenburger und Schinz (s.o.)

14. A. Engström
"Acta radiol." 31 (1949), Seite 483

15. G. Frommhold, L. Schoknecht
"Untersuchung über die Absorption und Feinstruktur von Knochen mittels monochromatischer Rö.-Strahlen"
Fortschr. Röntgenstr. 93 (1960), Seite 358

16. G. György, L. Bozoky
"Der lineare Schwächungs-Koeffizient als ein Maßstab des Mineralsalzgehaltes der Knochen"
Fortschr. Röntgenstr. 94 (1961), Seite 667

17. F. Heuck, E. Schmidt
"Die quantitative Bestimmung des Mineralsalzgehaltes der Knochen aus dem Röntgenbild"
Fortschr. Röntgenstr. 93 (1960), Seite 523

18. F. Heuck, E. Schmidt
"Praktische Anwendung einer Methode zur quantitativen Bestimmung des Kalksalzgehaltes im Knochen"
Fortschr. Röntgenstr. 93 (1960), Seite 761

19. G. C. Henny
Radiology 54 (1950), Seite 202

20. H. Jackson
"Problems in the Measurement of Bone density"
Brit. Journal Radiol. 24 (1951), Seite 613

21. B. Keane, G. Spiegler, R. Davis
"Quantitative Evaluation of Bone Mineral by a Radiographic method"
Brit. Journal Radiol. 32 (1959), Seite 162

R. Klement (1929 und 1935), zitiert aus Brandenburger und Schinz (s.o.)

22. P. Imig
"Vereinfachung der quantitativen Absorptionsmessung zur Ca-Bestimmung im menschlichen Skelettsystem"
Dissertation an der FU 1966

23. P. B. Mack, W. N. Brown, H. D. Trapp
"The Quantitative Evaluation of Bone density"
Am. J. of Roentg. 61 (1949), Seite 808

24. Mc Cae, W. M. Sweet, E. M., Barnett, Nordin
"Diagnoses of Osteoporosis in Childhood"
Brit. Journal of Rad. Febr. 1967, Band 40, Seiten 104 - 107

25. H. H. Matthiasch, O. Hepp
"Erkrankungen durch Störungen des Mineralstoffwechsels"
Handbuch der Orthopädie, Band 1 (1957), Georg Thieme-Verlag, Stuttgart
Seiten 302 - 406

26. E.-M. Rittner
"Die röntgenologische Darstellung der Caries incipiens"
Dissertation an der FU Berlin 1962

27. G. Schwarzenbach
"Die komplexiometrische Titration" 1957, Seiten 65 - 67
Georg Thieme-Verlag, Stuttgart

28. P. Siegmung, H. J. Dulce
"Zur Biochemie der Knochenauflösung"
Hoppe-Seyler Zeitschrift für phys. Chemie 320 (1960), Seiten 149 - 159

29. P. Strug
"Röntgenologische und chemisch-analytische Bestimmung des Ca-Gehaltes im Knochen"
Dissertation an der FU Berlin 1964

30. G. Trömler (1929 und 1935)
zitiert aus Brandenburger und Schinz (s.o.)

10. Danksagung

Für die Erteilung des Themas und großzügige Förderung meiner Arbeit möchte ich Herrn Professor Dr. Dr. E. Krokowski, Strahleninstitut und Strahlenklinik der Freien Universität Berlin, herzlich danken.

Herrn Dr. J. S. Braun, Institut für Klinische Chemie der Freien Universität Berlin, danke ich, daß er mir die Ergebnisse seiner chemisch-analytischen Untersuchung der Zähne zur weiteren Auswertung zur Verfügung stellte.

Herrn Professor Dr. A. Loeschke bin ich für die Möglichkeit, dort röntgenologische Untersuchungen an Wirbelsäulen und Humeri von Kindern durchführen zu können, zu großem Dank verpflichtet.

Frau U. Barckow danke ich für die wertvolle Hilfe bei der Anfertigung der Röntgenbilder.

10. Danksagung

Für die Erteilung des Themas und großzügige Förderung meiner Arbeit möchte ich Herrn Professor Dr. Dr. E. Krokowski, Strahleninstitut und Strahlenklinik der Freien Universität Berlin, herzlich danken.

Herrn Dr. J. S. Braun, Institut für Klinische Chemie der Freien Universität Berlin, danke ich, daß er mir die Ergebnisse seiner chemisch-analytischen Untersuchung der Zähne zur weiteren Auswertung zur Verfügung stellte.

Herrn Professor Dr. A. Loeschke bin ich für die Möglichkeit, dort röntgenologische Untersuchungen an Wirbelsäulen und Humeri von Kindern durchführen zu können, zu großem Dank verpflichtet.

Frau U. Barckow danke ich für die wertvolle Hilfe bei der Anfertigung der Röntgenbilder.

Lebenslauf

Am 12. Dezember 1940 wurde ich, Sabine Berten, geb. Rothenberg, als Tochter des Arztes Dr. Hans Dietrich Rothenberg und seiner Ehefrau Dr. Conradine Rothenberg, geb. Otto, in Rathenow / Havel geboren.

Von 1949 bis 1955 besuchte ich die Friedrich-Engels-Grundschule in Rathenow und anschließend die Karl-Marx-Oberschule, an der ich 1959 mein Abitur bestand. Anschließend ließ ich mich im Herbst 1959 an der medizinischen Fakultät der Humboldt-Universität Berlin für Humanmedizin immatrikulieren.

Seit dem Sommersemester 1962 studierte ich an der Freien Universität Berlin und legte im gleichen Jahr mein Physikum ab. Im Wintersemester 1965/66 schloß ich das medizinische Studium mit dem Staatsexamen an der Freien Universität Berlin ab.

Druck: Dissertationsdruckstelle, 1 Berlin 33, Garystr. 45